

# Was ist Strom?

## 1 Leistung

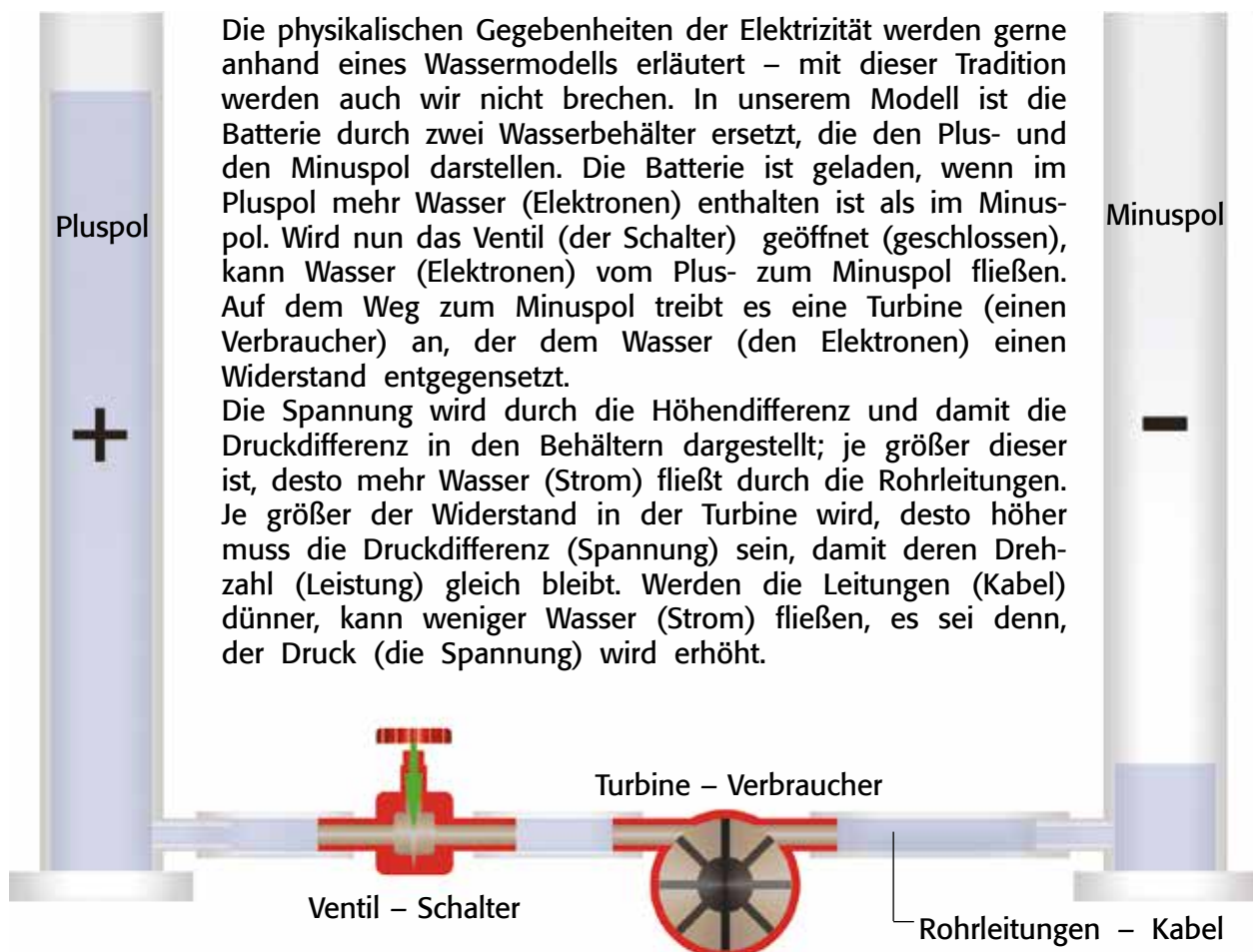
ist das Produkt aus Strom und Spannung und wird in Watt (W) oder Vielfachem davon, etwa Milliwatt (mW) oder häufiger Kilowatt (kW) angegeben. Zwei Beispiele: Durch eine Glühlampe fließt bei einer Spannung von 12 Volt ein Strom von 2,1 Ampere. Daraus ergibt sich deren Leistung zu  $12 \cdot 2,1 = 25,2$ , abgerundet zu 25 Watt. Ein Elektroherd braucht bei 230 Volt Netzspannung 25 Ampere, die Leistung beträgt hier also  $230 \cdot 25 = 5.750$  Watt oder 5,75 Kilowatt. Das Formelzeichen für die Leistung ist  $P$ .

## Widerstand

Ein ganz wichtiger Begriff in der Elektrotechnik. Die Einheit ist Ohm ( $\Omega$ ), das Formelzeichen  $R$ . Er hat zwei Bedeutungen: Erstens bezeichnet er ein Bauteil, das in Stromkreisen eingesetzt wird, um Spannungen zu verringern - etwa, um eine 12-Volt-Leuchte an einer 24-Volt-Batterie betreiben zu können - oder um einen Spannungsabfall zu erzeugen, zum Beispiel zur Messung eines Stromes. Die zweite Bedeutung: Der Widerstand ist eine physikalische Eigenschaft jedes Leiters und jedes Verbrauchers. Dies lässt sich so erklären:

---

## Das Wassermodell



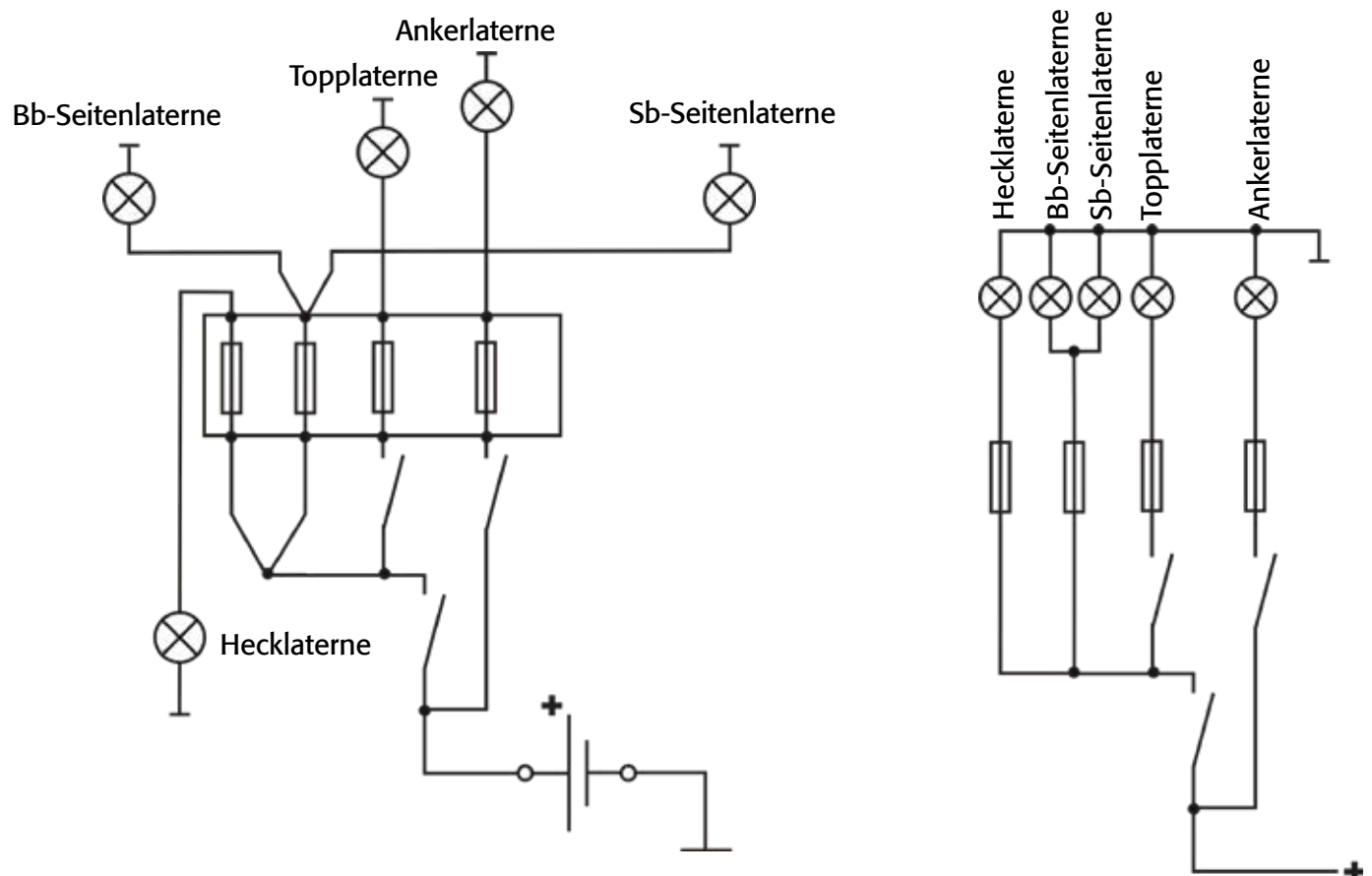
# Bauteile, Schaltzeichen und Schaltpläne

2

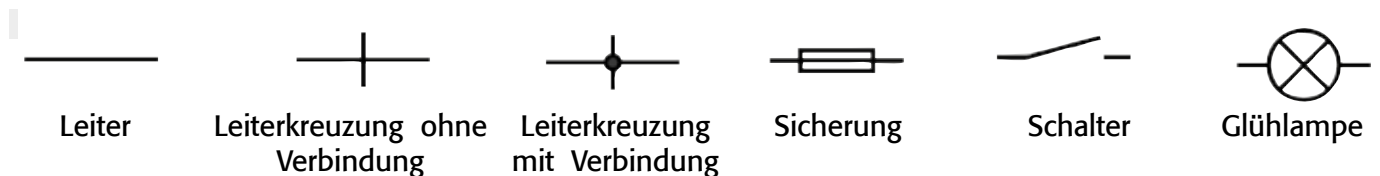
Schaltpläne oder auch Stromlaufpläne sind eine vereinfachte Darstellung der elektrischen Verbindungen der Elemente einer elektrischen Anlage. Sie können sehr verwirrend aussehen, vor allem, wenn größere Anlagen, wie zum Beispiel das gesamte Bordnetz, in einem Plan gezeigt sind. Kennt man das Prinzip der Darstellung und die Bedeutung der darin verwendeten Symbole, kann man jedoch auch als Laie bald den Stromverlauf in diesen Plänen verfolgen. Darum geht es in Schaltplänen: Sie zeigen die Verbindung der einzelnen Elemente des Bordnetzes in abstrahierter Form, eine Art der Darstellung, die zwar nichts mit dem wirklichen Aussehen der Anlage oder des Systems gemein hat, es aber ermöglicht, durch die Vereinfachung eventuelle Schadenstellen und Ausfallursachen einzugrenzen.

## Aufgelöste oder zusammenhängende Darstellung?

Aufgelöste und zusammenhängende Darstellungen unterscheiden sich durch den Abstraktionsgrad. In der KFZ-Technik wird oft mit zusammenhängenden Darstellungen gearbeitet,



**Stromlaufplan der Positionslaternen: zusammenhängende (links) und aufgelöste Darstellung (rechts). Unten die verwendeten Schaltzeichen.**



# Grundsaltungen

3

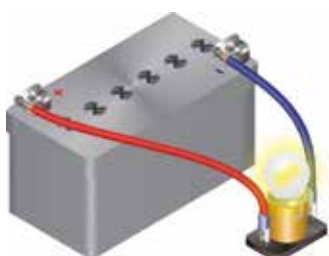
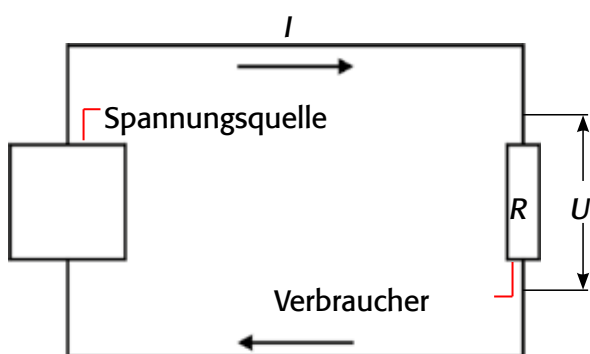
Als Schaltung bezeichnet man eine Verbindung von Elementen, die einen Stromkreis bilden. Im einfachsten Fall bestehen sie aus einer Stromquelle, zwei Leitern und einem Verbraucher, in unserem Beispiel einer Batterie, die mit zwei Kabeln mit einer Leuchte verbunden ist. Die Strom- und Spannungsverhältnisse lassen sich mithilfe des Ohm'schen Gesetzes verhältnismäßig einfach darstellen: Der Gesamtstrom  $I$  in der Schaltung ist gleich dem Strom durch den Verbraucher, der von der Batteriespannung  $U$  und dessen Widerstand  $R$  bestimmt wird. Beispiel: Bei einer Batteriespannung von 12 Volt und einem Widerstand des Verbrauchers von 8 Ohm fließt ein Strom von  $12 : 8 = 1,5$  Ampere. Damit können wir den Stromverbrauch oder die Leistung des Verbrauchers berechnen:  $12 \text{ V} \cdot 1,5 \text{ A} = 18 \text{ Watt}$ . In der Praxis wird es jedoch eher so sein, dass die Leistung bekannt ist und die Stromstärke, zum Beispiel zur Dimensionierung der Leiter, berechnet werden muss. Dazu wird die Gleichung umgestellt:  $18 \text{ W} : 12 \text{ V} = 1,5 \text{ Ampere}$ .

## Parallelschaltung

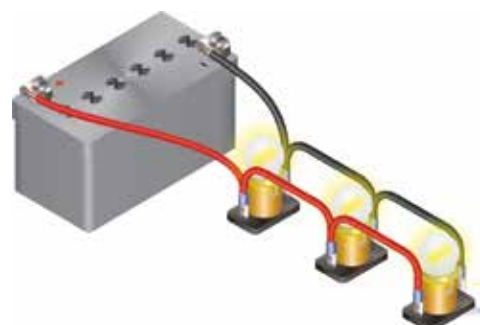
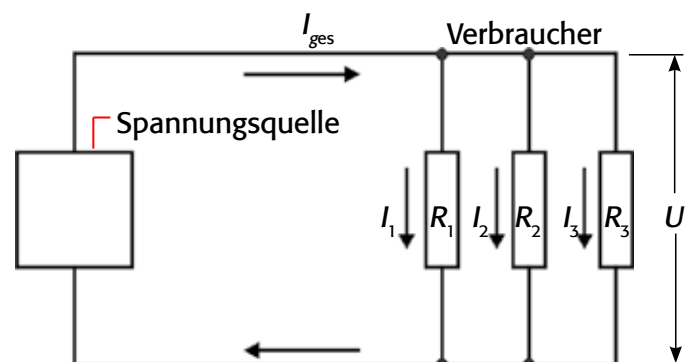
Alle Bordnetze auf Yachten sind so aufgebaut, dass zahlreiche Verbraucher an eine Batterie angeschlossen sind. Positionslaternen, Pumpen, Innenbeleuchtung und Kühlschrank werden aus einer Batterie, der Bordnetzatterie, versorgt. Man bezeichnet dies als Parallelschaltung, da alle Verbraucher parallel zur Batterie geschaltet sind. Kennzeichnend für diese Schaltung ist, dass an allen Verbrauchern dieselbe Spannung, meist 12 oder 24 Volt, anliegt. Wendet man nun das Ohm'sche Gesetz an, erhält man in unserem Beispiel mit drei Verbrauchern für die einzelnen Ströme

$$I_1 = U : R_1, I_2 = U : R_2 \text{ und } I_3 = U : R_3.$$

Einfacher Stromkreis



Parallel geschaltete Verbraucher



# Prüfen und Messen

einige Bauteile, deren Funktion nur mithilfe einer Widerstandsmessung geprüft werden kann. Dazu gehören Öldruck- und Temperaturgeber am Motor, die in einem bestimmten Widerstandsbereich, zum Beispiel zwischen 20 und 180 Ohm, arbeiten. Hier lässt sich mit einer Widerstandsmessung sehr schnell feststellen, ob der jeweilige Geber in Ordnung ist oder nicht. Schäden an Gebern zeigen sich gewöhnlich dadurch, dass deren Widerstand fast null ist oder, im anderen Extrem, im Megohmbereich (1.000.000 Ohm) liegt.

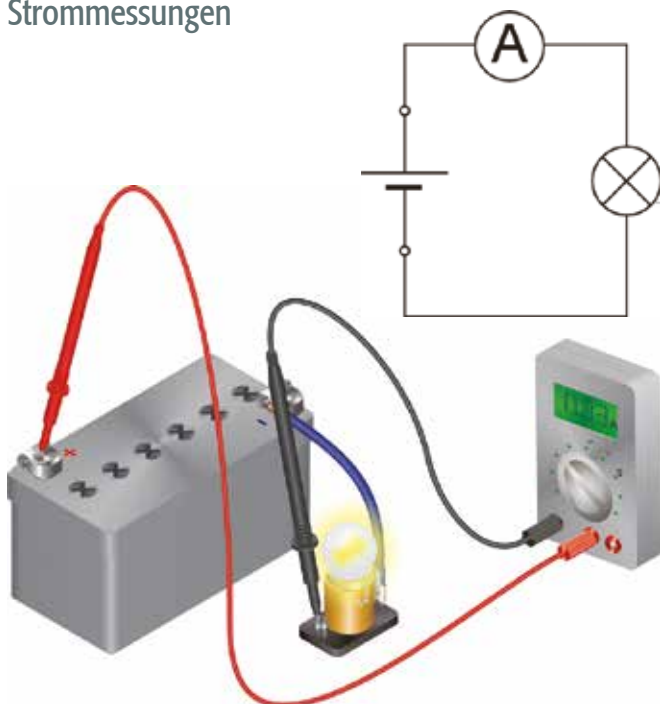
4 Widerstandsmessungen sind auch ein gutes Werkzeug, wenn es darum geht, Kurzschlüsse einzugrenzen. Spannungs- und Strommessungen scheiden hier aus, da der betroffene Stromkreis nicht unter Spannung geprüft werden kann.

## Strommessungen

Diese sind - wenn keine Strommesszange an Bord ist - sind meistens mit Aufwand verbunden und werden auch deshalb eher selten durchgeführt. Der Aufwand entsteht dadurch, dass der Stromkreis an der Messstelle aufgetrennt werden muss, da das Messgerät in Reihe mit den Verbrauchern geschaltet wird. Der zweite Grund liegt darin, dass der Messbereich der meisten Vielfachmeßgeräte für die im Bordnetz allgemein herrschenden Stromstärken zu klein ist.

Nur wenige Geräte verfügen über einen abgesicherten 20-Ampere-Bereich, und selbst dies kann sich als zu schwach herausstellen, wenn mehrere Verbraucher gleichzeitig angeschlossen sind oder wenn es sich bei dem Fehler um einen Kurzschluss handelt. Strommessungen werden daher meistens dann angewendet, wenn ein Gerät geprüft werden soll. So kann man zum Beispiel den Zustand von Kühlschranks-Kompressoren an deren Stromverbrauch

## Strommessungen



**Strommessung mit Multimeter.**

Stromführender Leiter



**Strommesszange.**

# Energiespeicher

## Vorsichtsmaßnahmen

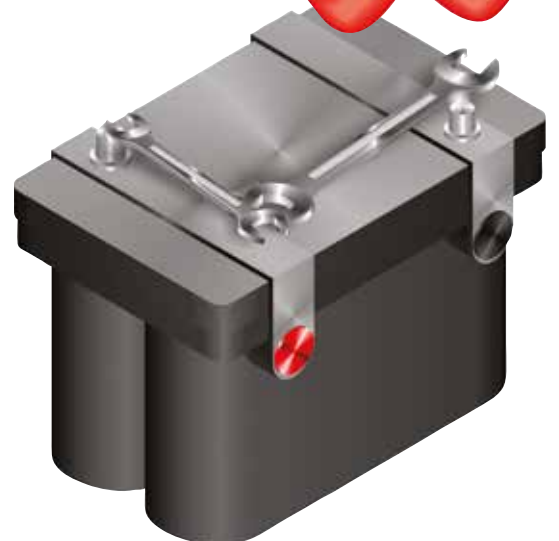
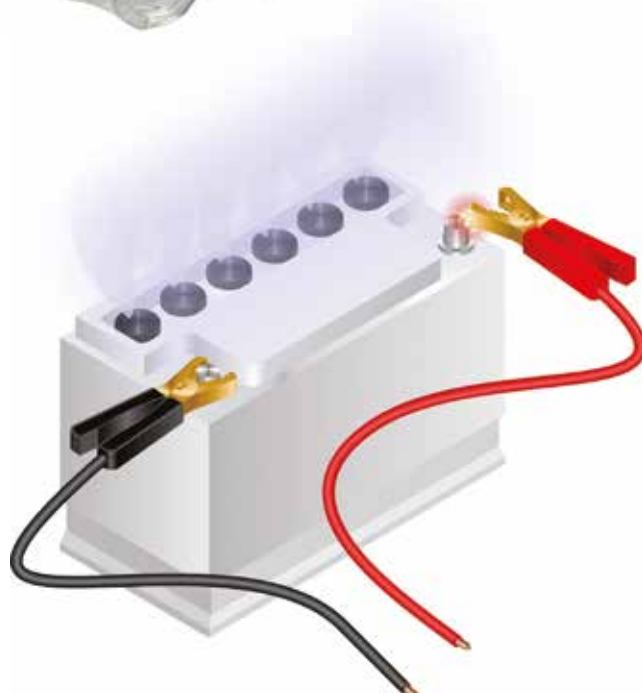
5

Bordnetzbatterien arbeiten im Bereich niedriger Nennspannungen, die im Allgemeinen als vollkommen ungefährlich bekannt sind. Dies führt oft zur Sorglosigkeit im Umgang mit diesen Energiespeichern, die bei halbwegs korrekter Auslegung das Schiff über mehrere Tage mit Strom versorgen können. Bei einem äußeren Kurzschluss wird diese Energie innerhalb von wenigen Sekunden freigesetzt; äußere Kurzschlüsse können zum Beispiel von achtlos auf der Batterie abgelegtem Werkzeug verursacht werden. In leichteren Fällen schmilzt nur das betroffene Werkzeug – zumindest teilweise – und die Batterie ist nur leicht beschädigt. Ist jedoch ein Fingerring, ein metallisches Armband oder gar eine Halskette Bestandteil des Kurzschlussstromkreises, kann dies zum Verlust der entsprechenden Glieder führen.

Daher dürfen bei Arbeiten an oder in der Nähe von Batterien grundsätzlich keine metallischen Halsketten, Armbänder oder Ringe getragen werden. Werkzeuge dürfen grundsätzlich nicht auf Batterien abgelegt werden.

Eine weitere, oft verkannte Gefahr entsteht aus der Eigenart der Batterien, während der Ladung Knallgas zu produzieren. Dieses Gasgemisch, welches aus Wasserstoff und Sauerstoff besteht, ist extrem explosiv und vor allem während und unmittelbar nach Ladevorgängen sowohl in als auch um die Batterie herum vorhanden.

Mehrere Unfälle wurden dadurch verursacht, dass nach einer Batterieladung mit einem externen Ladegerät dessen Anschlussklemmen von den Batteriepolen abgenommen wurden, ohne das Ladegerät vorher auszuschalten. Der dabei entstehende Funke brachte das Knallgas zur Explosion, wodurch die Batterie zerstört wurde und die ganze Umgebung mit Batteriesäure getränkt wurde. Dies führte in einigen Fällen zur Erblindung der Menschen, die sich zum Zeitpunkt der Explosion in der Nähe der Batterie befanden. Daher sollte man bei Arbeiten an Batterien mit flüssigem Elektrolyten grundsätzlich eine Schutzbrille tragen.



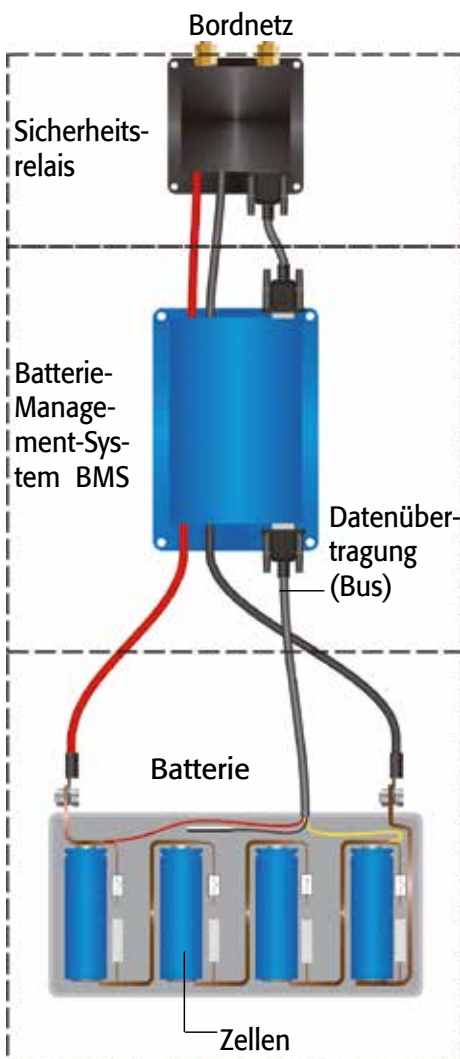
# Energiespeicher

geräten - der jeweiligen Hersteller verwendet werden können. Es ist im Umkehrschluss praktisch unmöglich, eine Lithium-Batterie von Hersteller x durch eine Batterie mit gleichen Daten von Hersteller y zu ersetzen.

## Lithium: Brandgefahren

6 In keiner mir bekannten Werbeschrift für Lithium-Batterien wird die katastrophale Wirkung eines Brandes von Lithium-Zellen erwähnt. Katastrophal insofern, als dass das Boot aufgegeben werden muss, wenn Lithium-Batterien an einem Brand beteiligt sind oder - was häufig genug vorkommt - diesen auslösen. Dies aus zwei Gründen: Da bei fast allen Lithium-Systemen die Vorgänge bei einem „Thermal Runaway“, einem thermischen Durchgehen der Batterie infolge von beispielsweise Überladung, Tiefentladung, zu hoher Temperatur, zu niedriger Temperatur, mechanischen Beschädigungen und einem Versagen des Batteriemanagementsystems exotherm sind, breiten sich diese Brände sehr schnell aus. Aufgrund der chemischen Struktur der meisten Zellenarten werden dabei sehr schnell extrem hohe Temperaturen erreicht, die mit herkömmlichen Feuerlöschmethoden nicht

## Systemebenen



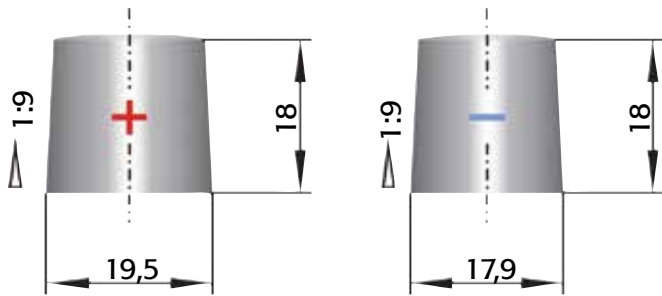
Lithium-Batteriesysteme bestehen nicht nur – wie zum Beispiel Blei- oder Nickel-Cadmium-Batterien – aus ein paar zusammengeschalteten Batteriezellen und den Anschlüssen für die Stromentnahme, sondern müssen wegen der Anfälligkeit gegen Überladung, Tiefentladung, zu hohe und zu niedrige Temperaturen, oder auch Überspannungen und Kurzschlüssen mit diversen Sicherheitsmechanismen ausgestattet sein. Die Bezeichnungen für die dazu erforderlichen Elemente sind allerdings ein wenig diffus.

Schon innerhalb der Zellen werden sicherheitsrelevante Parameter wie zum Beispiel Druck und Temperatur überwacht. Werden vorgegebene Grenzwerte – zum Beispiel infolge Überladung – überschritten, schaltet die Zelle sich selbst ab. Auf Zellenebene werden ebenfalls Temperatur und Ladezustand der einzelnen Zellen überwacht. Unterschiedliche Ladezustände, wie sie infolge von Fertigungstoleranzen bei Ladevorgängen auftreten können, werden durch einen Zellenausgleich („Balancer“) ausgeglichen. Von einigen Herstellern wird diese Ebene bereits dem Batterie-Management-System zugeordnet.

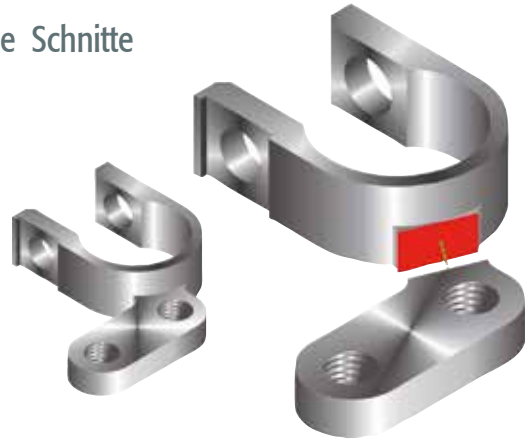
Dieses beginnt jedoch im allgemeinen Sprachgebrauch erst hinter der Batterie. Zwar werden die auf der Zellenebene erfassten Daten – meist mittels CANopen-Bus – an das BMS gesendet und dort verarbeitet, das Management-System reagiert jedoch in der Regel in der Batterie-Ebene. Werden Betriebsbedingungen erfasst, die zu einer Gefährdung der Batterie führen könnten (Überladung, Tiefentladung, Überspannung etc.), bewirkt das Batterie-Management-System eine Abschaltung – entweder aller Verbraucher und der Ladestromversorgung oder, bei manchen Systemen, auch eine diskrete Abschaltung von Ladung und Entladung.

# Batterien – Einbau und Anschluss

## Batterie-Endpole – Maße



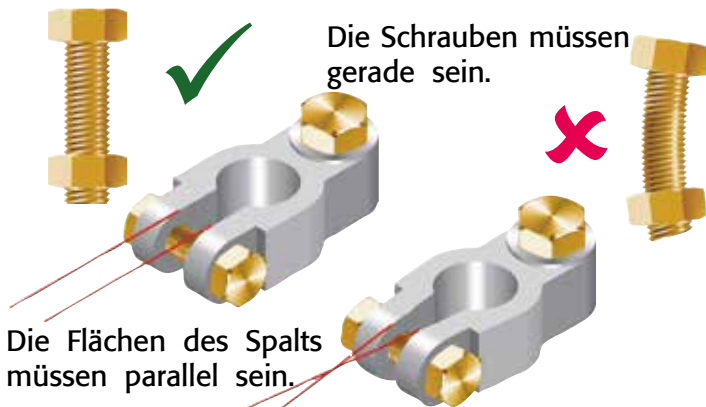
## Kleine Schnitte



Die Maße von Batterie-Endpolen sind in der DIN 60095-2 festgelegt. Plus- und Minuspol sind unterschiedlich groß – der Pluspol ist mit 19,5 Millimeter etwas dicker als der Minuspol (17,9 Millimeter); daher sollte eine Verwechslung der Anschlüsse zumindest theoretisch ausgeschlossen sein. Die Pole sind mit einem Konus 1:9 versehen.

Bei Klemmen dieser Bauart (links) muss der rot gekennzeichnete Querschnitt den gesamten Strom tragen.

## Verformung verhindern!



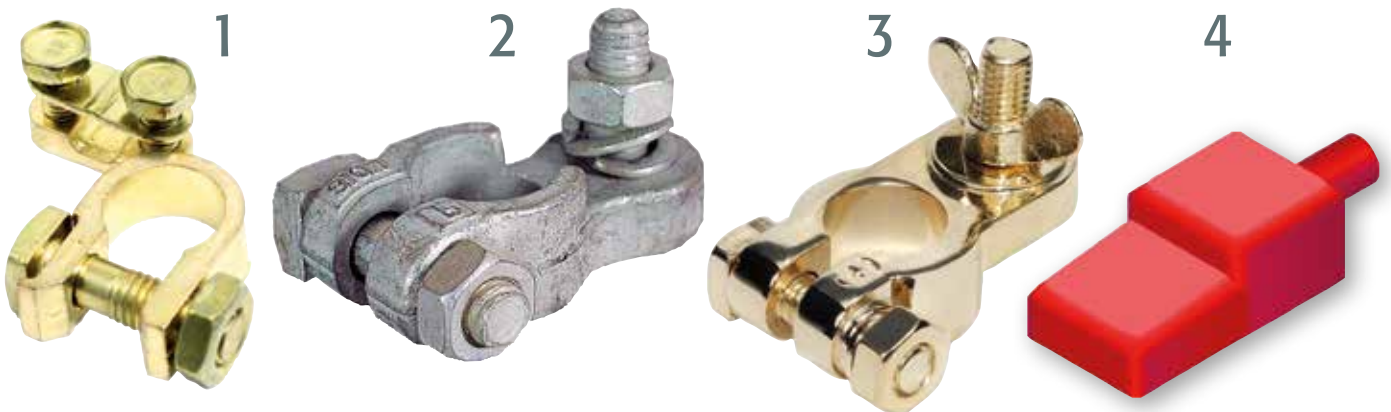
Die Schrauben müssen gerade sein.

Die Flächen des Spalts müssen parallel sein.



Die Klemme auf dem Foto ist bereits so weit verformt, dass kein Druck mehr auf die Kontaktflächen aufgebracht werden kann.

## Klemmenvergleich



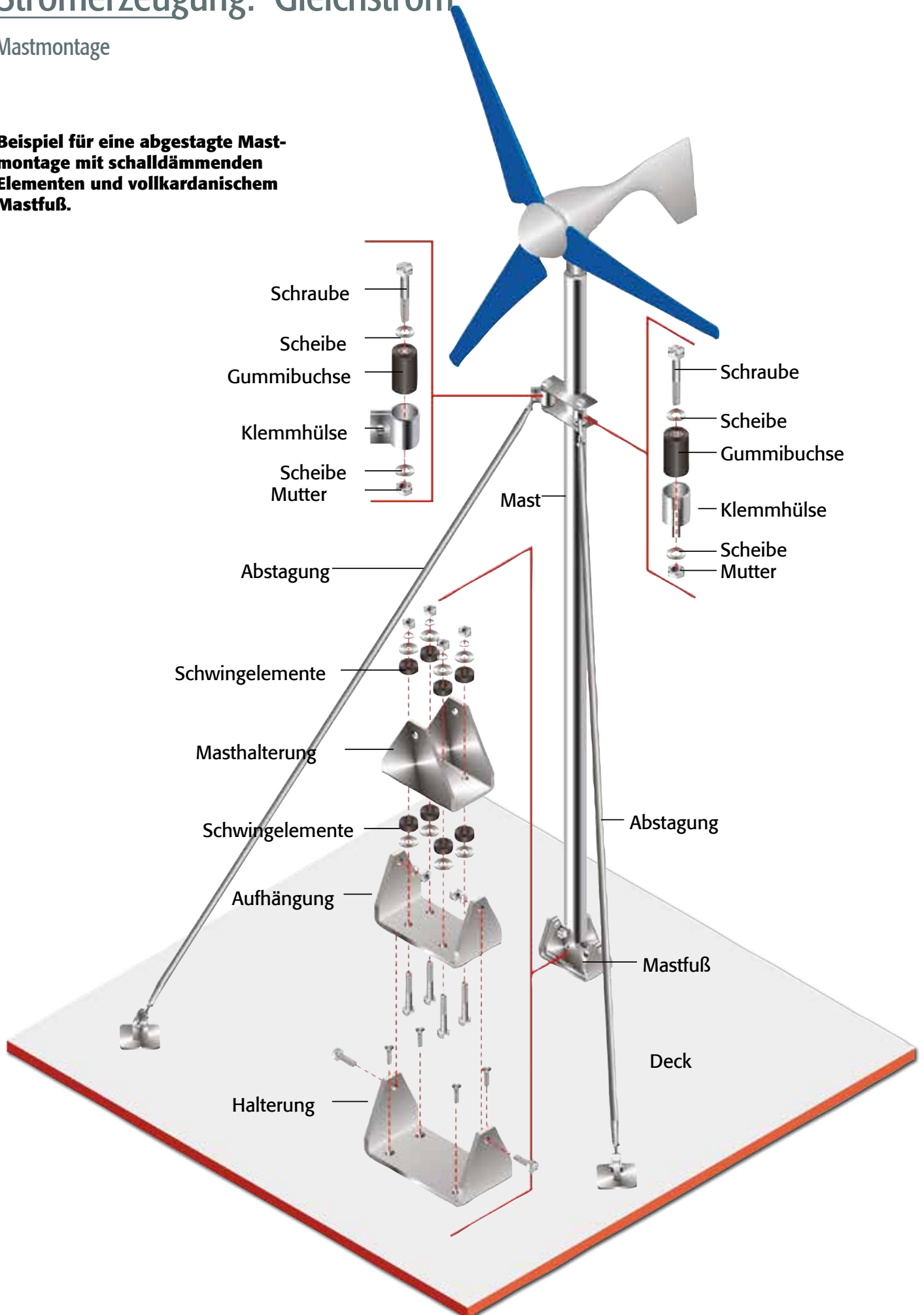
1. Standard-PKW-Klemme. Der Querschnitt im Übergang zwischen Polstück und Leiterklemme ist verhältnismäßig klein, eine fachgerechte Befestigung des Anschlusskabels ist kaum möglich. 2. Deutlich massivere verzinkte Klemme. Die Belastbarkeit dürfte mehr als ausreichen, die Korrosionsbeständigkeit hingegen ist eher als mäßig anzusehen. 3. Massiv, poliert, vergoldet und zwei- bis dreimal so teuer wie die verzinkte Klemme. Die Korrosionsbeständigkeit dieser Klemme dürfte annähernd optimal sein – es darf jedoch kein Meerwasser zwischen Batteriepol und Klemme gelangen. Die Flügelmutter sollte jedoch durch eine Sechskantmutter ersetzt werden – mit einer Flügelmutter können die nötigen Anzugsdrehmomente nicht erzeugt werden. 4. Plusklemmen müssen, wenn sie offen zugänglich sind, mit einer isolierenden Kappe versehen sein.

# Stromerzeugung: Gleichstrom

## Mastmontage

**Beispiel für eine abgestagte Mastmontage mit schalldämmenden Elementen und vollkardanischem Mastfuß.**

8





# Stromerzeugung an Bord: Wechselstrom

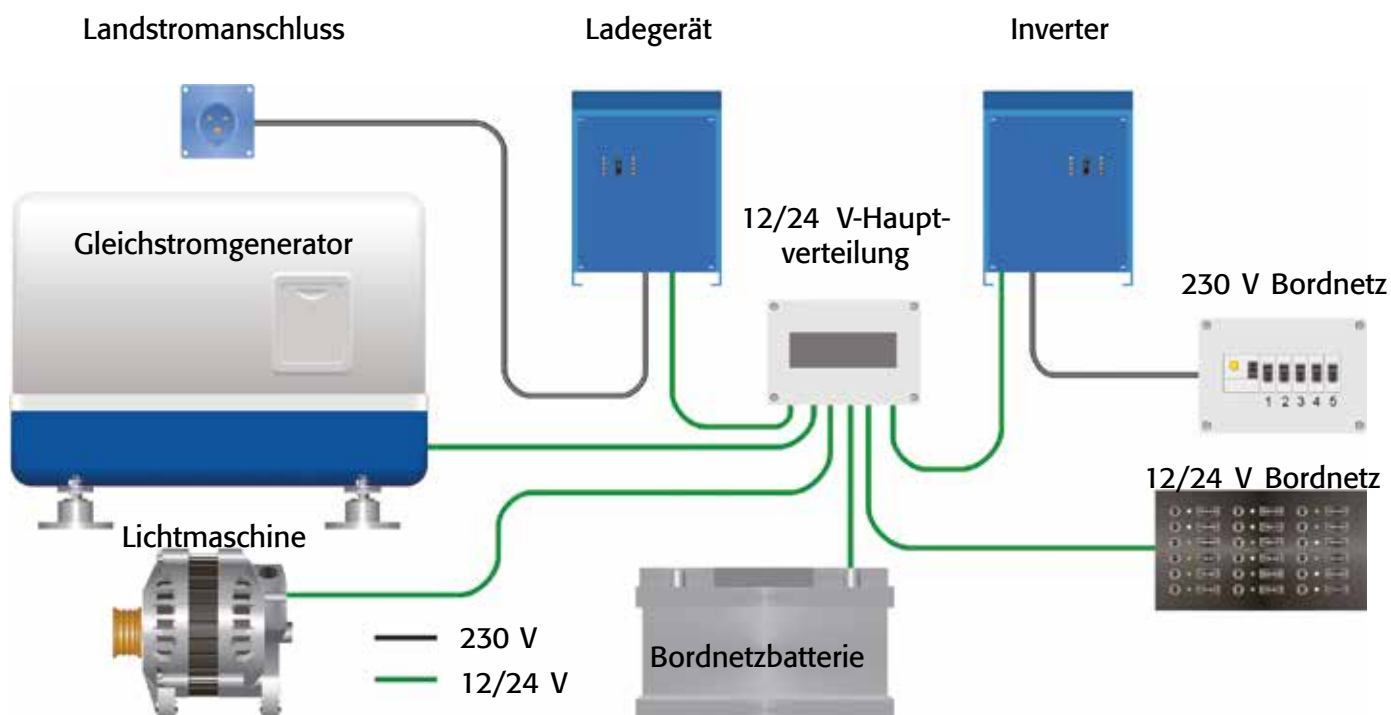
dürfte bei etwa 800 Amperestunden liegen. Dazu müsste der Verbrauch auf unter 10 Kilowattstunden pro Etmaal reduziert werden, was in der Regel auch mit geringen Einschränkungen an Komfort möglich ist.

Anders auf Motoryachten: Hier kann ein Energiebedarf von bis zu circa 15 Kilowattstunden alleine von den Lichtmaschinen der Antriebsmotoren abgedeckt werden. Gehen wir in einem 24-Volt-Bordnetz von zwei 60-Ampere-Lichtmaschinen aus, die durchschnittlich jeweils 30 Ampere liefern, werden in 10 Stunden Motorlaufzeit 14,4 Kilowattstunden erzeugt. Diese Methode funktioniert, wenn man täglich mehrere Stunden motort und abends überwiegend vom Landanschluss versorgt wird. Will man allerdings längere Zeit ohne Landanschluss auskommen, zum Beispiel bei längeren Ankerzeiten, wird ein Generator durchaus sinnvoll. Es ist allemal wirtschaftlicher, einen kleinen Gleichstromgenerator mit einem 5-Kilowatt-Motor zur Batterieladung einzusetzen, als die Hauptmaschinen mit oft mehreren hundert Kilowatt für denselben Zweck zu „missbrauchen“.

## Einbindung in das Bordnetz

9 Hier kann man zunächst drei Anschlussarten des Generators an das Bordnetz unterscheiden: tragbare Generatoren als eigenständige Einheiten - auch wenn diese nicht in das

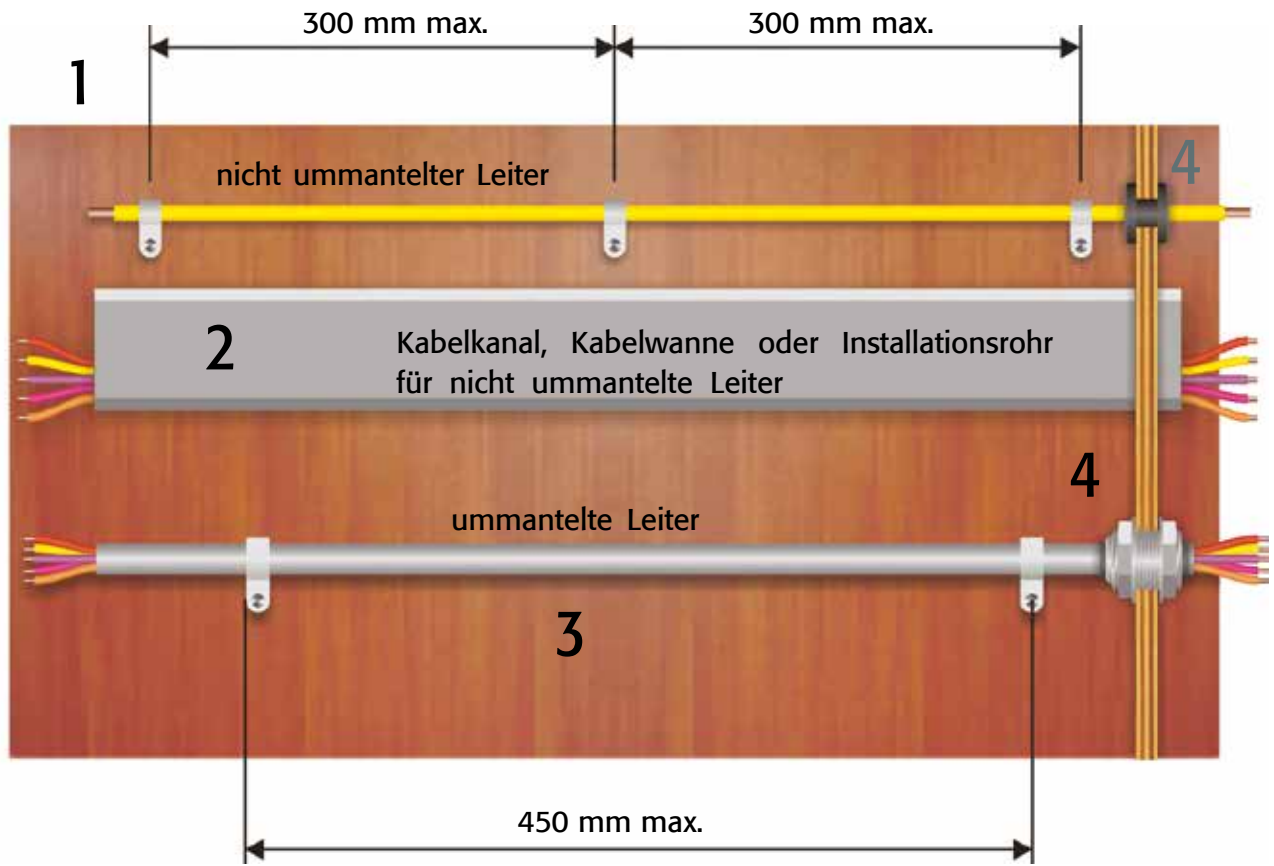
### Das Gleichstromkonzept



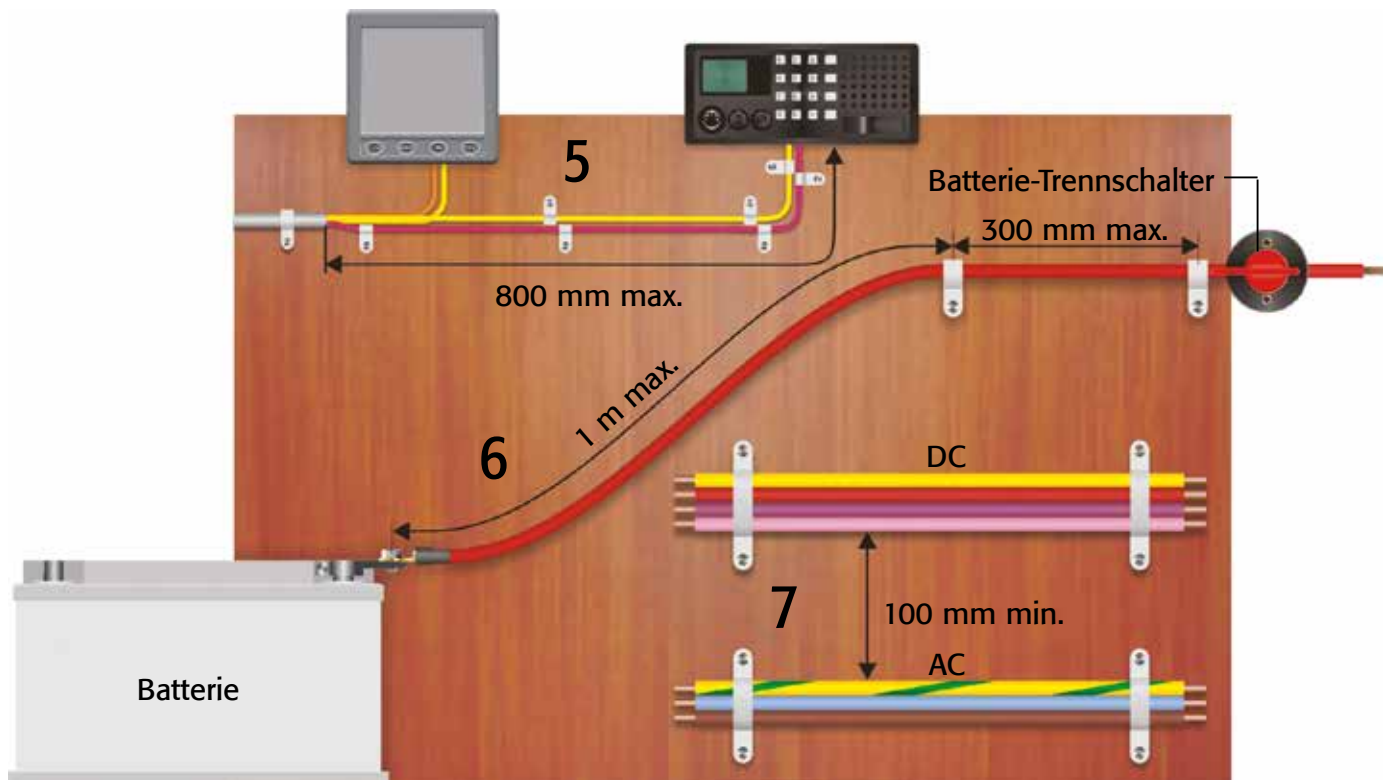
Bei dem Gleichstromkonzept wird ganz auf einen 230-Volt-Generator verzichtet. Stattdessen speist ein Gleichstromgenerator das gesamte Bordnetz. Die Wechselfrequenz wird durch einen oder mehrere Inverter erzeugt. Da der Landstrom nicht direkt in das Bordnetz eingespeist wird, sondern über das Ladegerät zunächst zur Batterieladung verwendet wird, ist das System mit einem entsprechenden Ladegerät weitgehend unabhängig von der Frequenz und der Spannung des Landanschlusses. Interessant für Eigner von Metallschiffen: Mit entsprechend ausgeführten Ladegeräten muss der Schutzleiter des Landstromanschlusses nicht mit der Schiffs Erde verbunden werden.

# Das Gleichstrombordnetz (DC)

Kabel und Leitungen – Verlegung



10



Schutzeinrichtungen (Sicherungen, Schutzschalter, Erdung) sind teilweise nicht dargestellt.

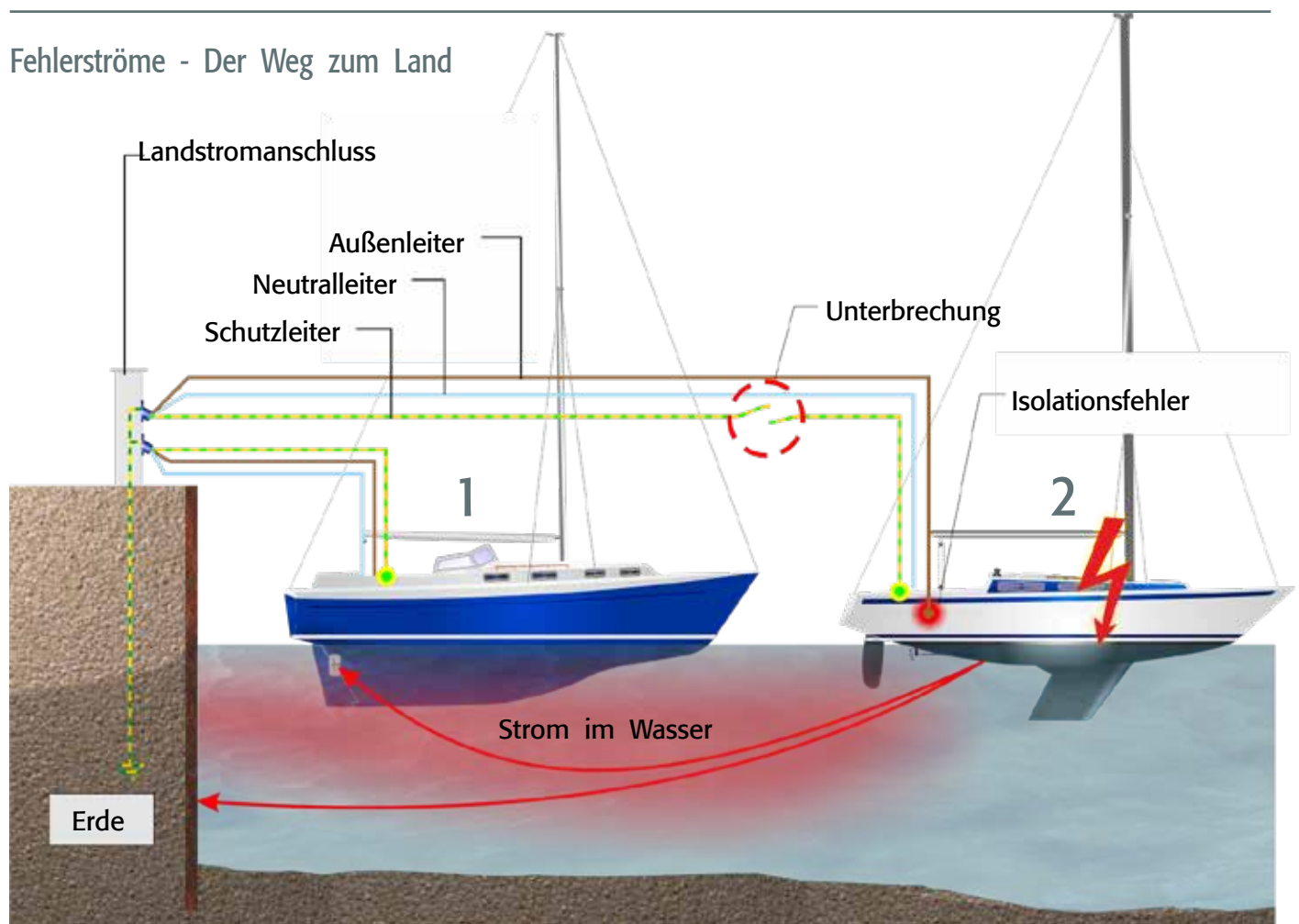
# Das Wechselstrombordnetz (AC)

an Land und der Bordnetzverteilung nicht durch einen landseitigen Schutzschalter abgesichert, kann zum Beispiel ein an der Fußreling durchgeschauertes Landstromkabel das Schiff unter Strom setzen, ohne dass der bordeigene Schutzschalter auslöst. Hier muss dann die Schutzmaßnahme „Schutzerdung“ übernehmen.

## Schutzerdung

Die Einführung der Schutzerdung hatte eine ähnliche Auswirkung auf das Unfallgeschehen im Bereich der Elektrik wie die Fehlerstromschutzschalter: Die Anzahl der tödlichen Unfälle wurde halbiert. Mit der Schutzerdung werden im Fehlerfall auftretende Ströme mit einem eigenen Leiter - dem grün-gelben Schutzleiter - sicher gegen Erde abgeleitet. So müssen elektrisch leitende Gehäuse von elektrischen Geräten - zum Beispiel das Gehäuse eines Toasters - mit dem Schutzleiter verbunden sein. Da dieser direkt mit der Erde - also

## Fehlerströme - Der Weg zum Land



In Schiffen mit fachgerecht ausgeführter Erdung (1) werden Fehlerspannungen über den Schutzleiter zur Erde – in diesem Fall dem Landstromanschluss – zurückgeführt. Es können keine gefährlichen Spannungen auf dem Rumpf oder auf anderen leitenden Teilen an Bord auftreten. Ist keine Erdung vorhanden oder ist diese unterbrochen (2), sucht sich der Fehlerstrom einen anderen Weg zurück zum Land – eventuell auch unter Beteiligung eines anderen Schiffes. Dieser führt immer durch das Wasser, schwimmen in der Nähe des Schiffes wird dann in salzarmen Gewässern zu einer lebensgefährlichen Angelegenheit.

# Netze der Zukunft: Bus-Systeme

Pakete übertragen werden, für Bilddaten reicht die Kapazität nicht. Das bedeutet, dass für spezielle, datenintensive Anwendungen - wie zum Beispiel (3D-) Sonarbilder, Radarechos und Bilder von (Unterwasser-) Kameras - andere Übertragungswege erhalten müssen. Im Falle von Sonarbildern laufen die Daten häufig über herstellerspezifische Kabel, die den Geber direkt mit dem Plotter verbinden. Bei Radarbildern oder Kameras kommt in der Regel herkömmliche Netzwerk- oder WLAN-Technik zum Einsatz. WLAN hat zudem den Vorteil, dass man die Daten mit entsprechenden Apps direkt auf einem Tablet oder dem Smartphone anzeigen kann. Allerdings können solche Systeme auch anfällig für Störungen sein und sie sind in den meisten Fällen nicht kompatibel zwischen verschiedenen Herstellern.

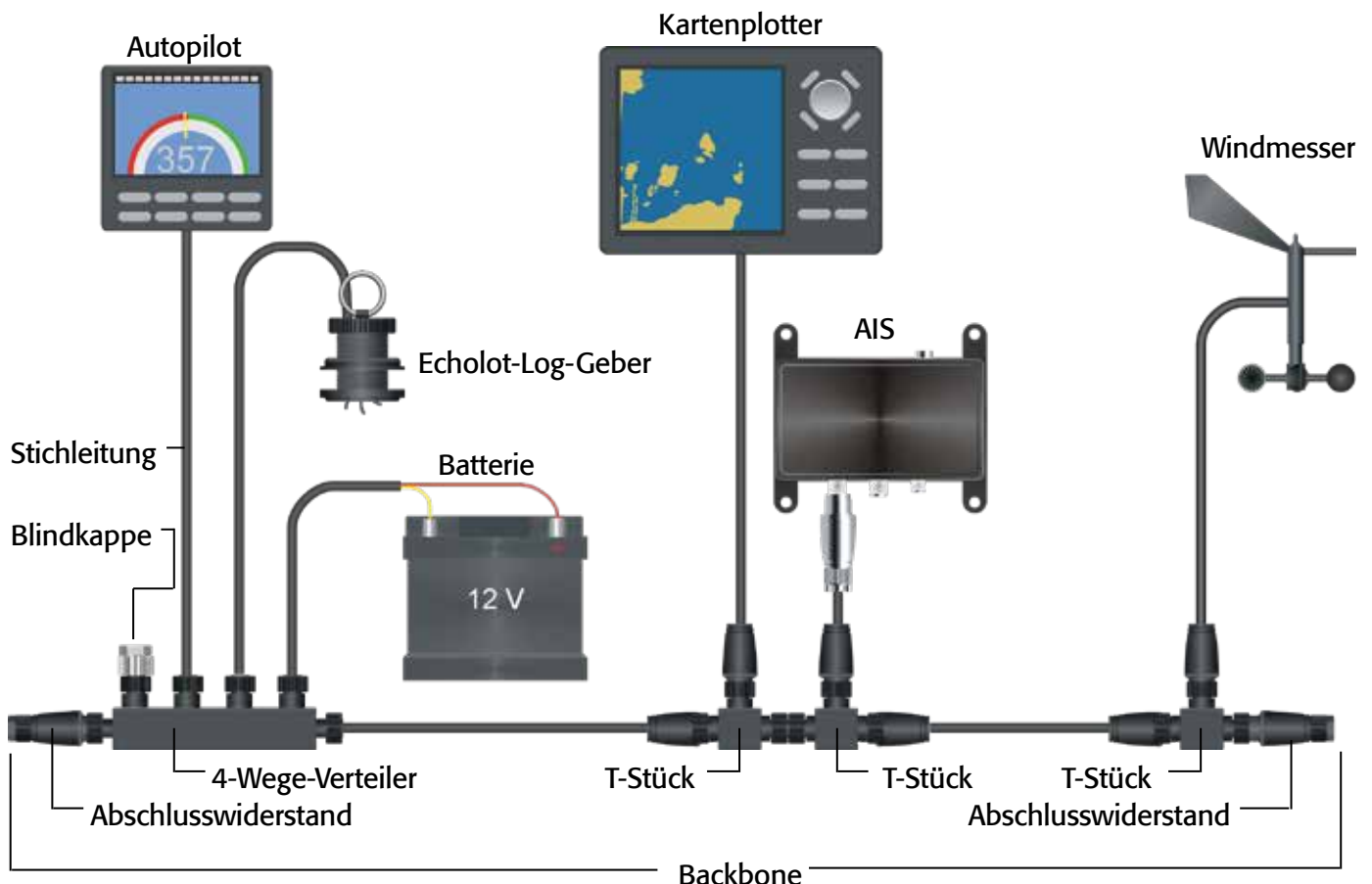
## Was bringt die Zukunft?

Aktuell befindet sich mit NMEA OneNet ein neuer Standard, basierend auf einem IPv6-LAN-Netzwerk, in der Entwicklung. Über ein solches zertifiziertes und standardisiertes Ethernet an Bord können auch extrem große Datenmengen sicher übertragen werden. Allerdings wird es wohl noch eine Weile dauern, bis Geräte mit diesem Standard in breiter Masse verfügbar sein werden. Da sich NMEA2000 für geringe bis mittlere Datenaufkommen

## NMEA2000 – Netzwerke



Schutzeinrichtungen (Sicherungen, Schutzschalter, Erdung) sind teilweise nicht dargestellt.



# Blitzschutz

den Kiel aufgesetzt werden. Die für Funkgeräte oft eingesetzten Schwammerder sind jedoch nicht zulässig. Aufgrund der hohen Ströme besteht die Gefahr, dass das Wasser in deren Gefüge zu kochen beginnt, womit der Übergangswiderstand sprunghaft steigen würde. Die Verbindung zwischen Mast und Erdung kann bei auf Deck stehenden Masten über die Maststütze erfolgen, wenn diese aus Metall ist. Die elektrische Verbindung kann durch die Bolzen der Mastfußbefestigung erfolgen, sofern deren Gewinde mindestens M8 (zwei Schrauben) oder M10 (dann reicht eine Schraube) beträgt. Weiter geht es mit Kupferkabel zur Erdungsplatte.

In der DIN EN wird eine separate Erdungsplatte für den äußeren Blitzschutz gefordert, in den anderen Normen werden Potenzialausgleich und Blitzableiter über eine gemeinsame Platte geerdet.

Wanten und Stage gelten als Nebenableiter und sind weitere Bestandteile des äußeren Blitzschutzes. Sie werden mit Kupferkabeln, Querschnitt je nach Norm 16 bis 25 Quadratmillimeter, an den Hauptableiter angeschlossen oder direkt an die Erdungsplatte angeschlossen. Die Ableitungen des äußeren Blitzschutzes sollen möglichst geradlinig ohne Schlaufen oder scharfe Biegungen und, wenn möglich, nicht parallel zu anderen Leitungen im Schiff verlegt werden. Zu anderen Kabeln sollte ohnehin ein möglichst großer Abstand eingehalten werden, um Überspannungen im Bordnetz durch Induktion zu vermeiden.

## Innerer Blitzschutz

Dieser kann aus drei Maßnahmen bestehen: Potenzialausgleich, Schirmung und Überspan-

13

## Blitzstromklemmen



Die Verbindungsstellen der Ableiter müssen in der Lage sein, Stromstärken von über einhundert Kiloampere standzuhalten. Viele der sonst in der Bordelektrik eingesetzten Verbinder sind für diesen Zweck nicht geeignet, da die Klemmkraft, die Flächen oder die Querschnitte für die Übertragung des Blitzstroms zu klein sind. In Blitzstromklemmen erfolgt die Klemmung durch mindestens eine Schraube mit Gewinde M10 oder zwei Schrauben M8, kleinere Gewinde sind nicht zugelassen. Die Befestigung von flexiblen Kabeln muss mit Presskabelschuhen erfolgen, Lötverbindungen sind untersagt, ebenso wie Würgeverbindungen oder eine Quetschung mit Madenschrauben.

Bei der Materialwahl sollte auf Korrosionsbeständigkeit geachtet werden. Materialpaarungen, die zu galvanischer Korrosion führen, wie zum Beispiel Kupfer und Aluminium, sollten vermieden werden.

# Motorelektrik

beides voneinander fernzuhalten. Dies gilt in erster Linie für die Übergangsstellen zwischen Leitungen und Aggregaten, also Kabelanschlüsse, Steckverbinder und alle Schrauben, mit denen ein Kabel befestigt ist. Diese werden regelmäßig mit einem schützenden Spray behandelt, um Korrosion und sich damit bildende Übergangswiderstände vorzubeugen. Besonders das Anlasser- und das Massekabel zur Batterie sollten sorgfältig gepflegt werden, da Kontaktkorrosion an diesen Stellen aufgrund der hier fließenden enorm hohen Ströme schnell zu einem Versagen der kompletten Motorelektrik führen kann.

Anlasser und Magnetschalter sind an den meisten Motoren verhältnismäßig tief angebracht und sind der Bilge oft gefährlich nahe; hier sollte man besonders darauf achten, dass Feuchtigkeit keinen Zugang zu diesen Teilen erhält. Der Belüfter des Abgassystems darf nicht direkt über dem Anlasser angebracht sein, da ansonsten bei der früher oder später auftretenden Undichtheit des Unterdruckventils Seewasser seinen Weg auf und anschließend in Anlasser und Magnetschalter findet.

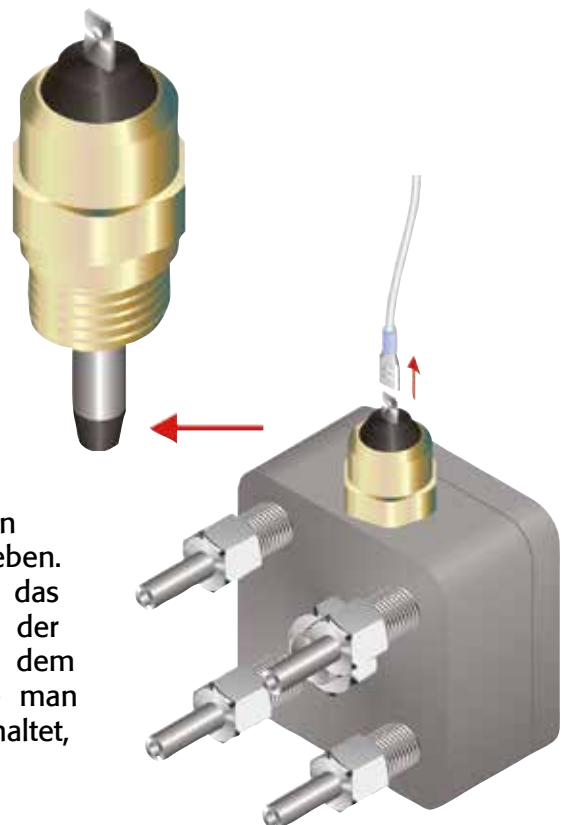
Kabelschuhe und Steckverbinderkontakte müssen geprüft und sollten erneuert werden, wenn sie Verfärbungen oder Korrosion an den Übergangsstellen zwischen Kabel und Verbinder zeigen; auch wenn hier nicht unbedingt unmittelbare Schäden drohen, können Anzeigen verfälscht oder Warnfunktionen blockiert werden, wenn der Widerstand in den beteiligten Leitungen zu hoch wird.

---

## Magnetventile

14

Wird der Motor mittels Magnetventil abgestellt, bleibt er bei Versagen des Ventils oder dessen Stromversorgung einfach und plötzlich ohne vorherige Warnung (zum Beispiel Drehzahlschwankungen) stehen. Zur Fehlereingrenzung kann man zunächst prüfen, ob bei eingeschalteter Zündung Spannung am Anschluss des Magnetventils anliegt. Ist dies der Fall, kann man den Kabelanschluss (in der Regel einen Flachstecker) abziehen. Dabei sollte ein kleiner Funke zwischen Stecker und Anschluss entstehen; ist dies nicht der Fall, kann man davon ausgehen, dass das Magnetventil defekt ist. Die Diagnose kann durch eine Widerstandsmessung erhärtet werden. Findet man keine Spannung, liegt der Fehler im Kabel, der Motorsicherung (falls vorhanden) oder dem Zündschloss. Man kann versuchen, das Kunststoff-Dichtelement an Ende des Kolbens zu entfernen – bei einigen Ausführungen wird dadurch der Weg des Kraftstoffs freigegeben. Bei Verteilereinspritzpumpen funktioniert dies nicht, da dort das Ventil einen Kanal zwischen der Druck- und der Saugseite der Pumpe freigibt. Falls es funktioniert, sollte man sich vor dem erneuten Start des Motors jedoch Gedanken machen, wie man diesen wieder abstellt – wird nur die Zündung ausgeschaltet, läuft der Motor weiter, bis der Tank leer ist.

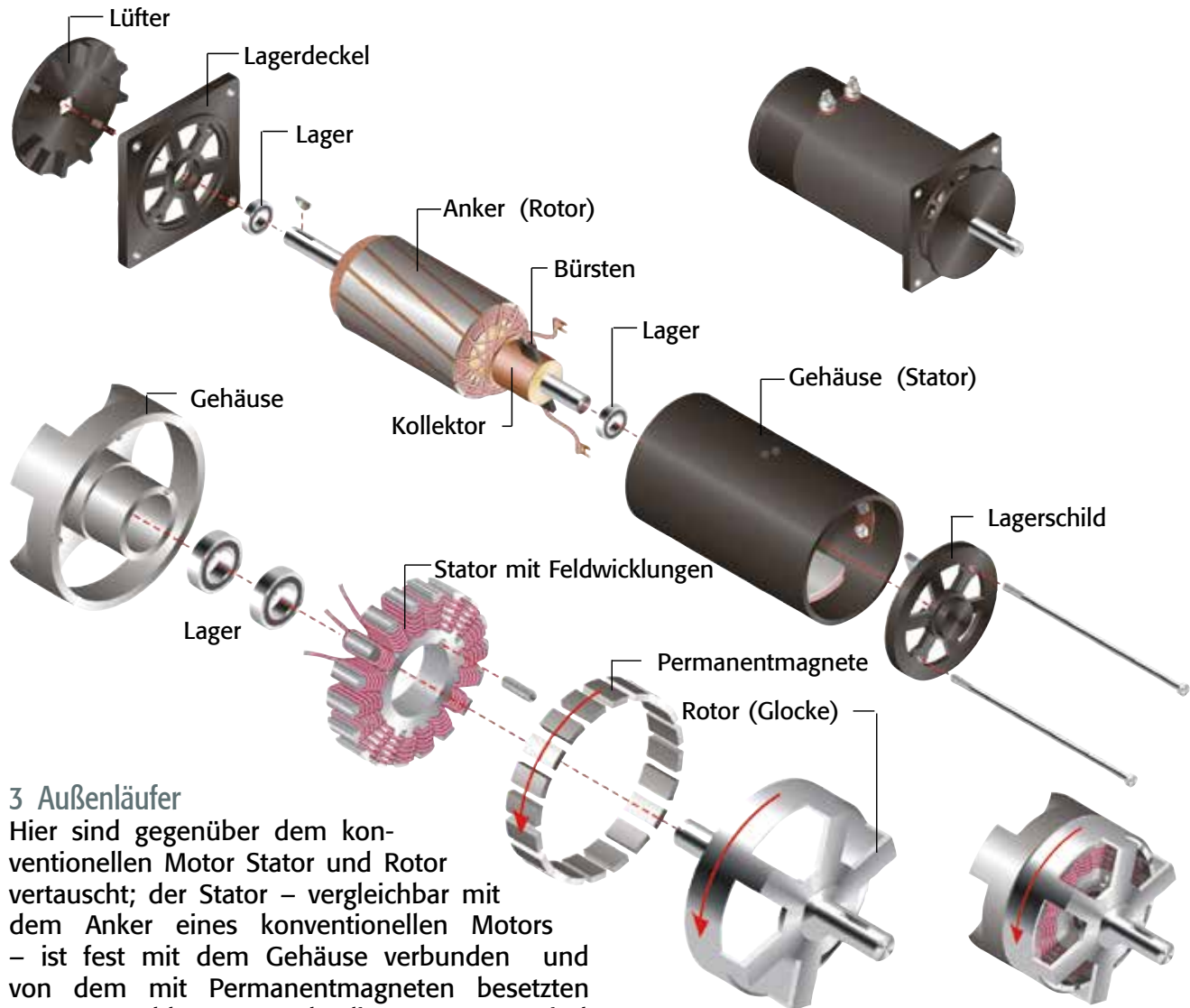


# Elektroantriebe

## Motorevolution

### 1 Konventioneller Innenläufer

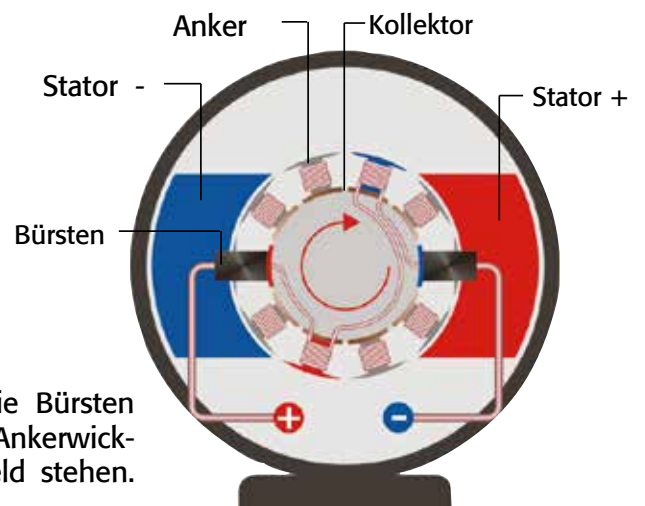
Der sich drehende Anker wird über einen Kollektor und Kohlebürsten mit Strom versorgt, wobei der Kollektor gleichzeitig die Stromwendung übernimmt, die erforderlich ist, um ein Drehmoment am Anker zu erzeugen. Das statische Feld wird durch Wicklungen oder Permanentmagnete erzeugt, die fest mit dem Gehäuse verbunden sind.



15

### 3 Außenläufer





Hier sind gegenüber dem konventionellen Motor Stator und Rotor vertauscht; der Stator – vergleichbar mit dem Anker eines konventionellen Motors – ist fest mit dem Gehäuse verbunden und von dem mit Permanentmagneten besetzten Rotor umschlossen. Auch diese Motoren sind elektronisch kommutiert. Aufgrund des hohen möglichen Wirkungsgrads lassen sich in dieser Bauart sehr kompakte Motoren mit überraschend hohen Leistungen herstellen.



Prinzip der (mechanischen) Kommutierung: Durch die Bürsten und die Lamellen des Kollektors werden immer die Ankerwicklungen mit Strom versorgt, die quer zu dem Statorfeld stehen.

# Beleuchtung

## Beleuchtung – Übersicht

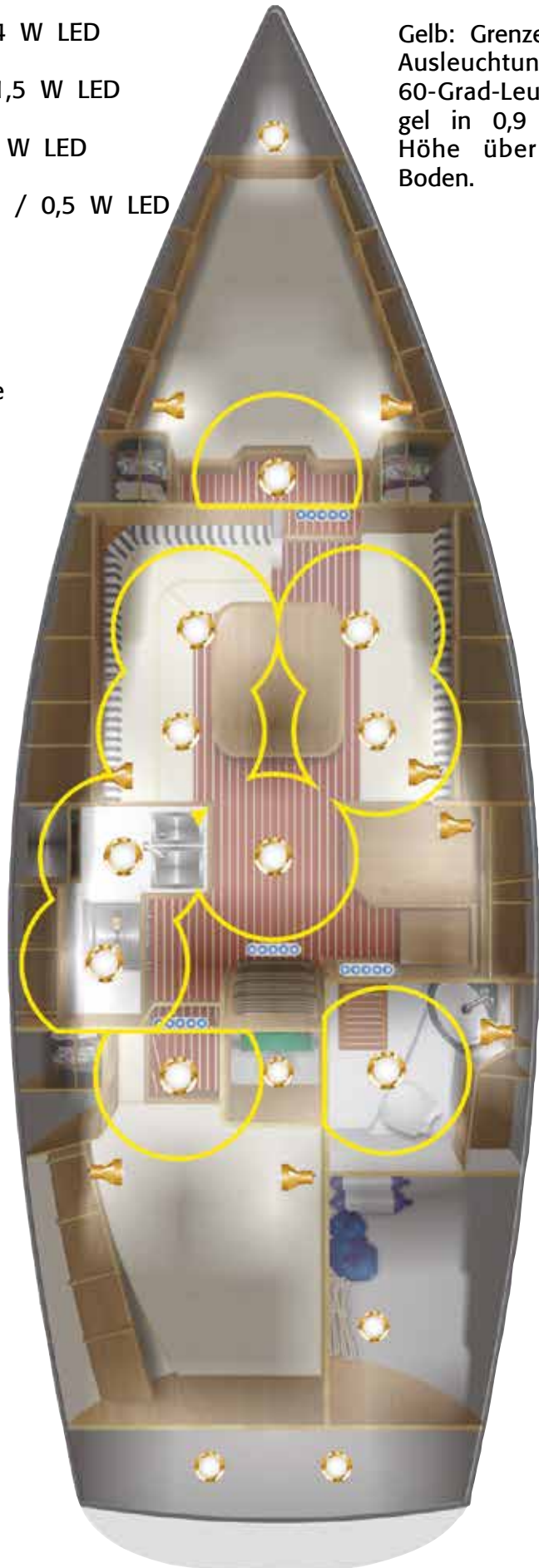
-  A: Deckenleuchte 20 W Halogen / 4 W LED
-  B: Deckenleuchte 10 W Halogen / 1,5 W LED
-  C: Leseleuchte 10 W Halogen / 1,5 W LED
-  D: Orientierungslicht 5 W Glühlampe / 0,5 W LED

Gelb: Grenzen der Ausleuchtung bei 60-Grad-Leuchtkegel in 0,9 Meter Höhe über dem Boden.

In dieser 10,5-Meter-Yacht sollten die Bereiche Pantry, Nassraum und Salontisch mit circa 200 Lux ausgeleuchtet werden. Für die übrigen Räume (Vorschiff, Achterkajüte, Stauräume) reichen 100 bis 150 Lux. Diese Beleuchtungsstärken gelten für die Höhe der Arbeitsflächen, also ungefähr 0,8 bis 0,9 Meter über dem Boden. Diese Werte können mit 20-Watt-Halogenstrahlern oder mit 4-Watt-LED-Leuchten erreicht werden. Zusätzlich sind in den Lesebereichen Leuchten vorgesehen, für die wegen des geringen Abstands zwischen Leuchte und Buch 1,5-Watt-LED-beziehungsweise 10-Watt-Halogenlampen ausreichen, um eine Beleuchtungsstärke von 250 bis 300 Lux zu erreichen. Die Deckenleuchten im Vorschiff sind ebenfalls mit 20- beziehungsweise 4-Watt-Lampen ausgestattet. Am Kartentisch und am Spiegel des Nassraums sorgen vier LED- oder 20 Halogen-Watt für 200 Lux. An strategischen Stellen sind zusätzlich 4 Orientierungsleuchten mit jeweils 5 beziehungsweise 0,5 Watt Leistung angebracht.

16

Der gesamte Stromverbrauch – wenn alle Leuchten eingeschaltet sind – beträgt bei Halogenbeleuchtung 340 Watt (28,3 Ampere bei 12 Volt), mit LED sinkt dieser Verbrauch auf 64,5 Watt (5,4 Ampere). Ist die Hälfte dieser Leuchten 2 Stunden am Tag eingeschaltet, ergibt dies eine Kapazitätsentnahme aus der Batterie von 28,3 für die Halogenbeleuchtung, jedoch lediglich 5,4 Amperestunden für die LED-Beleuchtung.





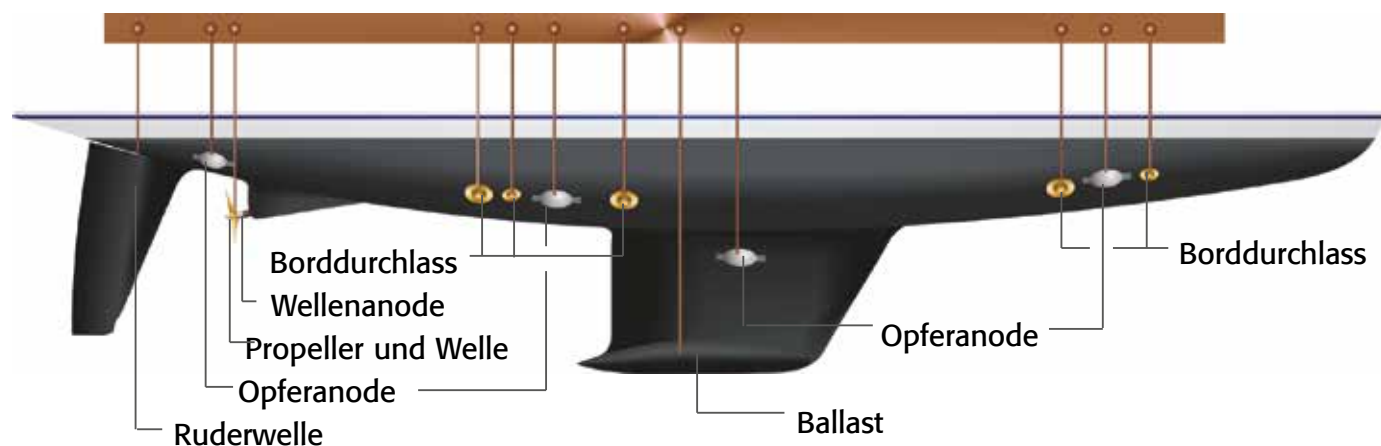
# Elektrochemische Korrosion

## Schutzmaßnahmen gegen galvanische Korrosion

In der Praxis lässt es sich kaum vermeiden, dass unterschiedliche Metalle im Unterwasserbereich eingesetzt werden. Um Korrosion durch elektrolytische Ströme zu verhindern, kann man zwei Wege beschreiten: Der erste besteht darin, dass man den Stromfluss unterbricht, indem man alle metallischen Bauteile im Unterwasserbereich voneinander isoliert. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn die Yacht mit einem vollständig isolierten Zweileiter-DC-System ausgestattet ist und keine Blitzschutzanlage installiert ist. Bei dem zweiten Weg fügt man dem Gemenge aus den unterschiedlichen Metallen mit unterschiedlichen Spannungspotenzialen ein zusätzliches Metall hinzu, dessen Potenzial mit Sicherheit unterhalb dem des unedelsten schiffbaulichen Teils liegt. Dieses System ist als kathodischer Korrosionsschutz bekannt und wird angewendet, wenn es technisch nicht möglich ist, die Metalle voneinander zu isolieren.

Welche dieser Methoden sinnvollerweise eingesetzt wird, hängt nicht zuletzt vom Rumpfmaterail ab. Holz- und Kunststoffrümpfe sind von Natur aus nicht leitend, sodass hier eine Isolation der Metallteile im Unterwasserbereich in der Regel keinen großen Aufwand darstellt. Bis auf wenige Ausnahmen kann hier ein System geschaffen werden, in dem sich die meisten Metalle nicht gegenseitig beeinflussen können. Ausnahmen bilden in fast allen Fällen die Teile des Antriebs, die mit Seewasser in Verbindung kommen: Bei Schiffen mit

## Kathodischer Korrosionsschutz



Beim kathodischen Korrosionsschutz werden alle metallischen Teile im Unterwasserbereich über einen Potenzialausgleich leitend miteinander verbunden. Dazu gehören zum Beispiel Borddurchlässe (Messing), Ruderwelle (nicht rostender Stahl), gegebenenfalls das Stevenrohr (Messing oder Bronze) oder das Unterwasserteil des Sailerdrives (Aluminium) und, falls nicht eingegossen, der Ballast (Gusseisen oder Blei). Werden jetzt Opferanoden (Zink oder Magnesium) strategisch am Rumpf verteilt und ebenfalls an den Potenzialausgleich angeschlossen, schützen diese infolge ihres niedrigen elektrochemischen Potenzials alle anderen Metalle, die sonst zum Opfer der edelsten Metalle am Unterwasserschiff würden.

Ohne Potenzialausgleich wären die Opferanoden wirkungslos; sie wären nicht mit den zu schützenden Materialien verbunden und der für die Schutzwirkung erforderliche Ausgleichsstrom könnte nicht fließen.

## Crimpzangen



1



2



3

5



6



Pressdruck



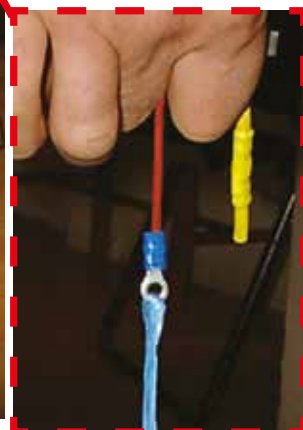
4

Notöffnung

Farbkennzeichnung

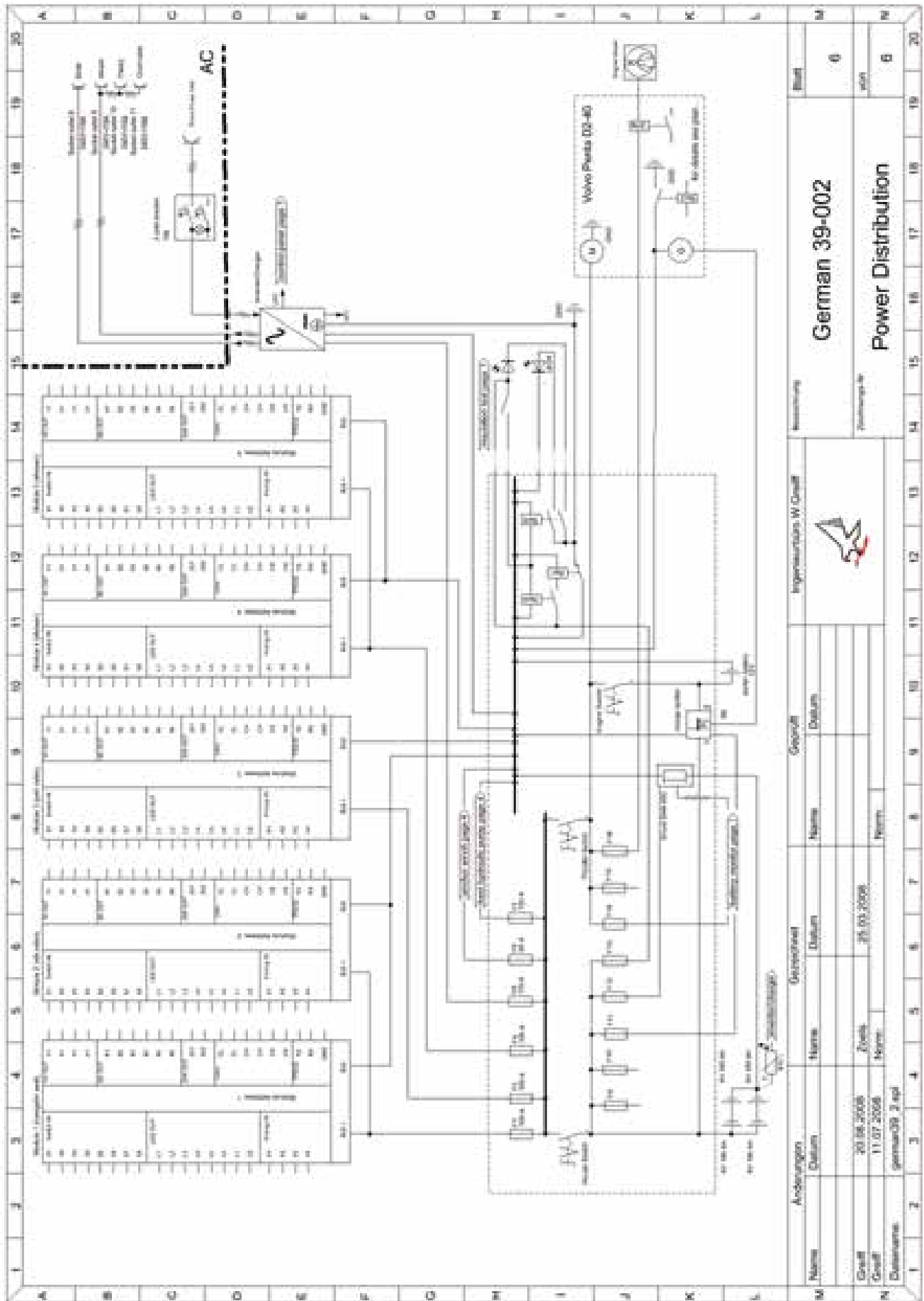
Zangen zum Anbringen von Quetschkabelschuhen an Leitern mit Querschnitten bis zu 6 Quadratmillimetern werden allgemein Crimpzangen genannt. Die damit hergestellten Verbindungen müssen den in DIN EN ISO 10133 und 13297 vorgegebenen Abzugskräften standhalten. Diese beträgt zum Beispiel für einen Querschnitt von 1,5 Quadratmillimetern 130 Newton. Daher fallen die Zangen 2 und 3 aus dem Rennen – mit diesen lassen sich diese Festigkeiten nicht erreichen.

Geeignet sind Zangen in der Ausführung 1. Diese verfügen über eine ausreichend große Übersetzung und eine Zwangssperre, die sich erst dann löst, wenn die vorgegebene Presskraft erreicht ist. Diese kann an einem Stellrad (Bild 4) eingestellt werden. Neben dem Stellrad ist ein kleiner Hebel, mit dem die Zange entriegelt werden kann, wenn der Daumen oder ein Ohrläppchen versehentlich zwischen die Backen gerät. Die meisten dieser Zangen sind mit austauschbaren Backen versehen (6), sodass sowohl isolierte als auch unisolierte Kabelschuhe damit verpresst werden können. Die Backen für die isolierten Kabelschuhe sind farblich – entsprechend der Farbe der Isolierung – gekennzeichnet (5). Fachgerecht ausgeführte Pressungen sind verblüffend fest. Die Abzugskraft für 1,5 Quadratmillimeter beträgt – wie oben erwähnt – 130 Newton. Dies entspricht etwa dem Gewicht eines vollen 10-Liter-Farbeimers. Wie nebenstehender Versuch zeigt, kann dieser mit einem Ringkabelschuh, der mit Zange 1 an einem 1,5-Quadratmillimeter-Kabel befestigt wurde, angehoben werden.



# Dokumentation

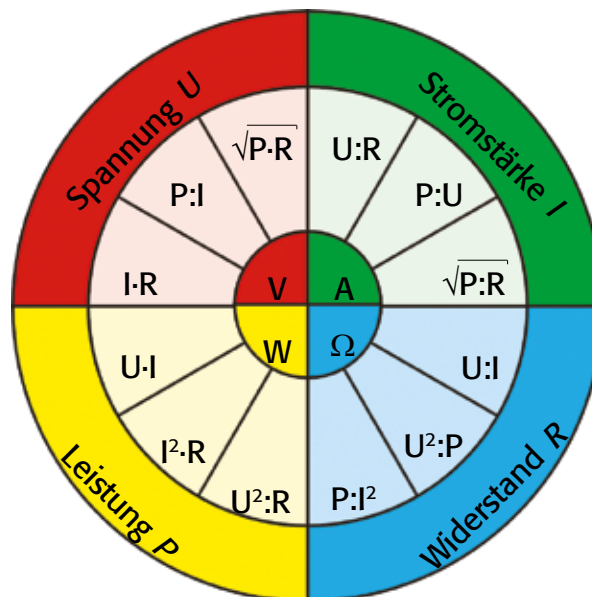
19



Schaltplan der Stromversorgung einer 39-Fuß-Segelyacht

# Anhang

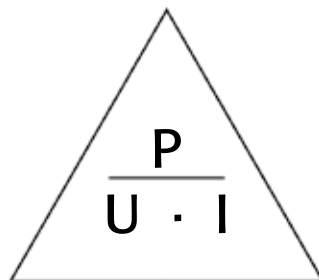
## Strom, Spannung, Widerstand und Leistung – das Formelrad



Dieses „Formelrad“ ist im Prinzip eine Umsetzung des Ohm'schen Gesetzes. Damit lässt sich ein gesuchter Wert für Strom, Spannung, Widerstand oder Leistung ohne großes Nachdenken finden. Beispiel: Gesucht ist die Spannung, gegeben sind Widerstand und Strom. Vorgehensweise: Man sucht im äußeren Kreis „Spannung“ (rot) und findet darin die Formel  $I \cdot R$  für Widerstand und Strom. Lösung:  $U = I \cdot R$ .

### Das Leistungsdreieck

Eine Hilfe bei der Berechnung von Leistungen (P), Spannungen (U) oder Strömen (I) ist das Leistungsdreieck:



Der Wert, den man berechnen will, wird abgedeckt. Mit den dann offenen Werten wird die Berechnung durchgeführt. Beispiel: Gesucht ist die Leistung P. Abgedeckt wird also P, die Berechnung erfolgt nach  $U \cdot I$ . Oder: Gesucht ist der Strom I. Dieser wird abgedeckt, gerechnet wird  $P : U$ .

## 20 IP-Schutzarten

Die sogenannten IP-Schutzarten (Internal Protection) sind ein Klassifizierungssystem, das